

Title	Virtue of Holographic Duality
Author(s)	谷田, 寛明
Citation	
Issue Date	
oaire:version	
URL	https://hdl.handle.net/11094/59444
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed 大阪大学の博士論文について ご参照 ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏 名	谷 田 寛 明
博士の専攻分野の名称	博 士 (理学)
学 位 記 番 号	第 2 5 1 8 9 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 24 年 3 月 22 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 理学研究科物理学専攻
学 位 論 文 名	Virtue of Holographic Duality (ホログラフィック双対性の効能)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 大野木哲也 (副査) 教 授 細谷 裕 教 授 窪田 高弘 准教授 山口 哲 准教授 浅野 健一

論 文 内 容 の 要 旨

嘗てブラックホール時空中における場の量子論の議論を経て、ブラックホールの物理と熱力学法則との類似が指摘された。そしてブラックホール内部の情報が総じてそのホライズン表面積によって反映される現象は驚くべき仮説を提示する。今日ホログラフィック原理と呼ばれるその仮説は、(D+1)次元の重力理論と D 次元の共形場理論という一見無関係な両理論の等価性を主張しており非常に興味深い。現在に至る精力的な研究は、究極理論の候補と目される 10 次元超弦理論あるいは 11 次元 M 理論の枠内において、ホログラフィーの思想をより広義に一般化し具体的定式化を伴った双対性として確立しつつある。

本博士論文において私は、このホログラフィック双対性を超弦理論的ブラックホール及び超対称ゲージ理論における Wilson ループという素粒子論における二つの重要課題に適用し、その極めて広範に渡る応用性と予言力を検証すると共に、ホログラフィーそれ自身の正当性についても言及していく。

11 次元 M 理論において MSW 系と呼ばれるブラックホールが知られている。これは M5 ブレーンと呼ばれる基本物体をコンパクトな 6 次元カラビ・ヤウ多様体の 4 次元部分空間に巻き付ける事で、ある種の 5 次元ブラックホールへの遷移を果たすシステムだ。とりわけ、この 5 次元ブラックホールの内部自由度の数、即ちエントロピーを M5 ブレーン上で有効的に現れるゲージ理論の構造から、量子補正をも考慮した形で導出出来てしまう事実が特筆に値する。しかしながら当時、特に超対称性の無い状態においてホライズン表面積と状態数との合致は明確でなく、それが超弦理論の量子重力理論としての正当性を推し量る上での必須の課題として残されていた。そこで我々は MSW ブラックホールが本質的に 3 次元ブラックホールの解析に帰着される事実に着目し、3 次元重力理論と 2 次元共形場理論とのホログラフィックな双対関係を用いて、ブラックホールエントロピーの検証に取り組んだ。特に重力チャーノン・サイモンズ項の効果を慎重に取り扱った結果、超対称性の有無に関わらずホライズン表面上における前述の自由度の再現に成功した。これはツールとしてのホログラフィーの有用性を示すに留まらず、超弦理論ないし M 理論の量子重力理論的側面を確認する役割の一端も担っている。無論、ホログラフィック双対性の MSW システムにおける実現を正当化している事も忘れてはならない。

ところで、ゲージ理論の非摂動的振る舞いを探る上で欠かせない対象に Wilson ループと呼ばれる非局所演算子が上げられる。これは元来クォーク閉じ込め問題へアプローチする際の指針として提唱され、その性質から試

験粒子に作用するポテンシャルの議論に有効性を発揮すると期待されるが、一般にその解析は困難を極める。

考察したのは異なる二種類の超対称ゲージ理論がドメインウォールと呼ばれるある種の位相欠陥を介して接合された理論だ。この様な背景において、例えば導体を前にした試験電荷が境界からのクーロン力を受ける現象の類似として、ドメインウォールと試験粒子間に引力ポテンシャルの発生が予想される。我々は Wilson ループにホログラフィックな処方を施す事で、強結合領域における上記ポテンシャルを超弦理論に基づいて導出した。これはゲージ理論に対する強結合系での新たな予言を与えているが、一方でドメインウォール構造の恩恵が、摂動論的なゲージ理論計算との比較をも可能とする。それを受け我々は、主要項に関する限り両者を照らし合わせ、一致を見た。これはホログラフィック双対性の存在を裏付ける状況証拠として重要な結論であると言えるだろう。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

素粒子論において重力と量子論の統一は未解決の難問である。半古典的近似や熱力学との類比によってブラックホールのある 4 次元時空における系の情報 (エントロピー) は、それより 1 次元低い「事象の地平線」とよばれる 3 次元時空にすべて押し込められる「ホログラフィー原理」が古くから提唱されてきたがその微視的な理解は困難であった。重力とゲージ理論を統一する超弦理論においてこれはより具体的な「重力・ゲージ双対性」予想として実現した。この予想の理論的証明はまだ存在しないが、強結合のゲージ理論で記述されるクォークの閉じ込めや有限温度相転移、あるいは強相関電子系など多くの問題を簡単な重力の問題に置き換えて解くことを可能にするもので幅広い応用が期待されている。

谷田氏はまだ理論的証明のない「重力・ゲージ双対性」予想について
1) Maldacena-Strominger-Witten (MSW)ブラックホールのエントロピー、
2) 位相欠陥のあるゲージ理論における Wilson ループの期待値、
という素粒子論の 2 つの重要な系に対しての理論的検証を行った。

まず、MSW ブラックホールのエントロピーは超弦理論を用いてゲージ理論から量子補正をも含み微視的情報量が導出されていたが、重力理論からのエントロピーの導出が課題として残されていた。谷田氏は MSW 系の巨視的描像が 3 次元重力理論に帰着される事実に着想を得、ホログラフィックなアプローチを経てエントロピーの導出に成功した。その結果、ゲージ理論と重力理論の両者の結果が一致することを発見した。

次に、ゲージ理論の非摂動的振る舞いを探る上で欠かせない対象として Wilson ループが上げられる。私はその強結合領域における解析が困難とされる位相欠陥を伴った超対称ゲージ理論に対し、Wilson ループの重力理論にもとづくホログラフィックな評価を試みた。その結果、位相欠陥が粒子に及ぼす力の予言に成功し、主要項での正しさを実証した。

この 2 つの結果はともに「重力・ゲージ双対性」予想の正しさを裏付ける非自明な状況証拠を与えるものであり、超限理論の本質的發展に対する重要な貢献である。

よって、本論文は博士 (理学) の学位論文として十分価値あるものと認める。